

**Actuating drive for use in fuel injection valves, for example, comprises a filler material filling at least one cavity between the actuator and the head plate and/or between- the actuator and the foot plate**

**Patent number:** DE19928780  
**Publication date:** 2001-01-04  
**Inventor:** GOTTLIEB BERNHARD (DE); KAPPEL ANDREAS (DE); MEIXNER HANS (DE); MOCK RANDOLF (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE)  
**Classification:**  
- **International:** H02N2/04  
- **European:** H01L41/083, H01L41/053  
**Application number:** DE19991028780 19990623  
**Priority number(s):** DE19991028780 19990623

**Abstract of DE19928780**

The actuating drive for use in fuel injection valves, for example, comprises a filler material (10) filling at least one cavity (9) between the actuator (4) and the head plate (2) and/or between the actuator and the foot plate (1).

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 28 780 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 02 N 2/04

②1 Aktenzeichen: 199 28 780.5  
②2 Anmeldetag: 23. 6. 1999  
④3 Offenlegungstag: 4. 1. 2001

DE 199 28 780 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Kappel, Andreas, Dr., 85649 Brunnthal, DE;  
Meixner, Hans, Prof. Dr., 85540 Haar, DE; Gottlieb,  
Bernhard, Dr., 81739 München, DE; Mock, Randolf,  
Dr., 81739 München, DE

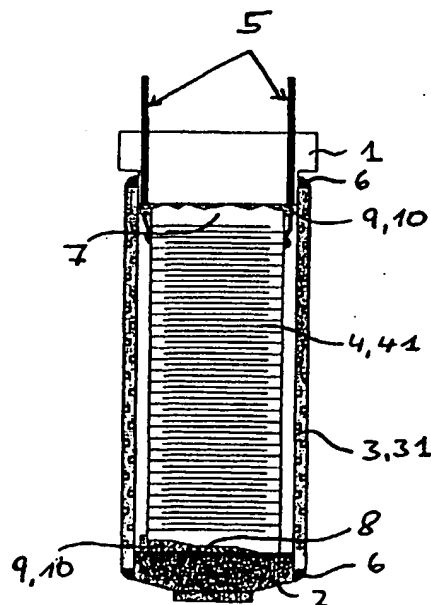
⑤8 Entgegenhaltungen:  
DE 38 44 134 C2  
DE 197 38 407 A1  
DE 42 28 974 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Stellantrieb

⑤7 Der Stellantrieb weist einen piezoelektrischen Aktor (4, 41), welcher an seiner oberen Kontaktfläche (7) an einer Kopfplatte (2) und an seiner unteren Kontaktfläche (8) an einer Fußplatte (1) aufliegt, auf sowie ein die Kopfplatte (2) und die Fußplatte (1) verbindendes Federelement (3, 31), mittels dessen der Aktor (4, 41) druckvorspannbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß ein Füllstoff (10) vorhanden ist, welche mindestens eine Kavität (9) zwischen dem Aktor (4, 41) und der Kopfplatte (2) und/oder zwischen dem Aktor (4, 41) und der Fußplatte (1) ausfüllt.



DE 199 28 780 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Stellantrieb und ein Verfahren zur Herstellung dieses Stellantriebs.

Ein Einsatz eines präzise stellbaren Stellantriebs, welcher zudem eine hohe Anfangskraft aufbringen kann, ist in vielen Bereichen gefordert. Ein Anwendungsbeispiel ist der Einsatz in einem Einspritzventil ("Injektor"). Dabei ist von besonderem Interesse die Verwendung eines Stellantriebs, welcher von einem piezoelektrischen Aktor angetrieben wird. Außer dem Aktor weist der Stellantrieb verschiedene Bauteile zur Sicherstellung der Anwendungstauglichkeit auf. Zu diesen Bauteilen kann beispielsweise der zum Piezoaktor gehörige elektrische Anschluß, eine Fußplatte und eine Kopfplatte zum Schutz des Aktors an seinen mechanischen Anschlüssen und zur Übertragung von Kräften oder eine Feder zur Druckvorspannung des Aktors zählen.

Trotz einer verlangten hohen Präzision in der Fertigung zeigen endmontierte piezoelektrische Stellantriebe signifikante Schwankungen in ihren elektromechanischen Kennwerten. Diese Schwankungen werden zu einem großen Teil hervorgerufen durch Kavitäten an den Kontaktflächen innerhalb des Stellantriebs. Solche Kavitäten können beispielsweise Rauigkeiten, Fehlerstellen und/oder Verkipnungen der Kontaktflächen sein. Auch kann beispielsweise eine Verformung des Aktors zu einer Schwankung im elektromechanischen Kennwert führen, beispielsweise durch eine Polarisationsvorgang eines Piezoaktors. Diese Kavitäten an den Kontaktflächen führen zu einem mechanischen Übertragungsverlust durch Leerfederung des Aktors innerhalb des Stellantriebs. Aufgrund der sehr schwer steuerbaren Größe und Lage der Kavitäten ergeben sich die Schwankungen in den elektromechanischen Kennwerten.

Eine Möglichkeit einer Verringerung des mechanischen Übertragungsverlustes besteht darin, den im Stellantrieb befindlichen Aktor mit einer vergleichsweise hohen Kraft druckvorzuspannen. Durch die Druckvorspannung werden die Endflächen des Aktors stärker an die anderen Bauteile gedrückt und so die reale Kontaktfläche durch ein Zusammendrücken der Kavitäten vergrößert.

Beispielsweise werden durch diese Anpreßkraft, mit einem Anpreßdruck von typischerweise zwischen 15 MPa und 20 MPa, Spalte teilweise zugeedrückt. Zu deren vollständiger Beseitigung wären aber wesentlich höhere Anpreßkräfte notwendig, welche sich unter ökonomisch vernünftigen Aufwand nicht aufbringen lassen. Zudem ergibt sich bei sehr hohen Druckkräften auf den Piezoaktor die Gefahr, daß dieser depolarisiert.

Ein Beispiel für einen mit einer Rohrfeder druckvorspannten piezoelektrischen Stellantrieb in einem Kraftstoff-Einspritzventil ist in DE 38 44 134 C2 dargestellt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Stellantrieb bereitzustellen, welcher eine verbesserte mechanische Übertragung zeigt.

Diese Aufgabe wird mittels eines Stellantriebs nach dem Patentanspruch 1 sowie mittels eines Verfahrens nach dem Patentanspruch 9 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den jeweiligen Unteransprüchen entnehmbar.

Der Stellantrieb weist einen elektromechanischen Aktor auf, welcher an seiner oberen Kontaktfläche an einer Kopfplatte und an seiner unteren Kontaktfläche an einer Fußplatte aufliegt. Unter einem elektromechanischen Aktor wird ein Element verstanden, das durch eine elektrische Ansteuerung (z. B. Spannung oder Strom) mechanisch deformierbar ist. Ein Beispiel für einen elektromechanischen Aktor ist ein piezoelektrischer, magnetostriktiver oder elektrostriktiver Aktor.

Der Aktor wird mittels einer Feder, welche an der Kopf-

platte und der Fußplatte mechanisch angreift, druckvorspannt. Weiterhin ist ein Füllstoff vorhanden, welcher mindestens eine Kavität zwischen dem Aktor und der Kopfplatte oder zwischen dem Aktor und der Fußplatte ausfüllt.

Durch Einbringen des Füllstoffs wird ein mechanischer Kraftschluß zwischen den an die Kavität grenzenden Oberflächen hergestellt, wodurch ein Kraftschluß von Aktor über den Füllstoff zur Kopf bzw. Fußplatte ermöglicht wird.

Durch die vergrößerte (effektive) Kontaktfläche wird die Kraftübertragung verbessert und der mechanische Übertragungsverlust reduziert.

Durch die gleichmäßigere (effektive) Kontaktfläche wird zudem die Schwankung in den elektromechanischen Kennwerten vorteilhaft reduziert.

Weiterhin ergibt sich der Vorteil, daß die mechanische Bearbeitungsgüte der Kontaktflächen deutlich verringert ist, was sich positiv auf die Herstellungskosten sowie auf die Ausschußrate auswirkt.

Der Füllstoff dient lediglich zur Überbrückung der Kavitäten, beispielsweise der Hohlräume und Spalten, so daß keine tatsächliche Verklebung zwischen den jeweiligen Endflächen an der Kontaktfläche erfolgen muß. Die dauerhafte Fixierung der Lage des Piezoaktors kann alleine durch die hohe mechanische Vorspannkraft des Federelementes gewährleistet werden.

Der Füllstoff kann sowohl sogenannte Füllstoffpartikel enthalten als auch ein homogenes Material ohne spezielle Füllstoffpartikel sein.

Ein Füllstoff mit Füllstoffpartikeln ist beispielsweise ein Keramik-Kitt, siehe unter anderem ISOLA: "Arbeitsanleitung für Keramik-Kitte", Schweizerische Isola-Werke, Breitenbach, CH, Oktober 1985 und technische Information "3M keramische Klebstoffe", 3M Deutschland GmbH, D. Es kann aber z. B. auch ein Epoxy-Klebstoff sein, der Zusätze wie Metallpulver enthält, siehe Typenübersicht "Epoxy-Spezialklebstoffe", Polytec GmbH & Co., Waldbronn-Karlsruhe, D.

Beispiele für Füllstoffe ohne Füllstoffpartikel sind Epoxid-Kleber ohne Beigaben, z. B. ein- oder mehrkomponentige Epoxid-Harze, oder Öle und Fette. Epoxidharze sind z. B. in den Typenübersichten "Epoxy-Spezialklebstoffe" und "epoxy technology inc: Epoxy-Klebstoffe" der Firma Polytec GmbH & Co., Waldbronn-Karlsruhe, D sowie in "UNISSET® one component epoxies" amicon Corporation, Lexington, US beschrieben.

Es ist vorteilhaft, wenn ein durchschnittlicher Durchmesser der Füllstoffpartikel  $< 0,1 \mu\text{m}$  ist. Dies ergibt sich daraus, daß der typische durchschnittliche Durchmesser einer Klasse von Kavitäten, nämlich der Hohlräume, zwischen  $1 \mu\text{m}$  und  $250 \mu\text{m}$  beträgt. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Auffüllung eines Hohlraums sollte daher die Größe der Füllstoffpartikel mindestens eine Größenklasse geringer sein als die kleinsten zu füllenden Kavitäten.

Es ist vorteilhaft, wenn der Füllstoff, mit oder ohne Füllstoffpartikel, ein Kleber ist, weil dadurch nach Aushärten des Klebers ein Vorhandensein des Füllstoffes in den Kavitäten auch nach längerem Betrieb gewährleistet ist.

Bei mechanisch sehr gut vorbehandelten Oberflächen mit nicht zu großen zu überbrückenden Abständen wird auch die Verwendung eines inerten Fluids (z. B. Öl, Fett) zur alleinigen Benetzung der Kontaktflächen als Füllstoff bevorzugt. Durch die Benetzung wird die mechanische Ankoppelung über die Kontaktfläche verbessert, sofern das Fluid durch Kapillarkräfte dauerhaft in den Kavitäten fixiert bleibt.

Als Füllstoff kann aber auch jeder andere Stoff verwendet werden, welcher die Kavitäten in befriedigender Weise ausfüllt, eine Kraftübertragung ermöglicht und auch im Dauer-

betrieb fixiert bleibt, z. B. ein plastisch verformbarer Festkörper aus duktilem Metall wie Blei oder Indium. Der Füllstoff kann auch ein Lot sein oder eine keramische Masse.

Zur Gewährleistung einer hohen mechanischen Übertragung zwischen den an den Kontaktflächen grenzenden Bauteilen, auch bei größeren Kavitäten, insbesondere bei größeren Abständen zwischen den Bauteilen, wird eine hohe Endhärte des Füllstoffs, beispielsweise nach einem Aushärten eines Klebers, angestrebt. Dies entspricht einem hohen Elastizitätsmodul, vorzugsweise  $> 10$  GPa.

Zur einfachen Herstellung, guten Fixierung sowie einer Einstellung einer hohen Vorspannkraft wird ein Federelement in Form einer an die Kopfplatte und an die Fußplatte angreifenden Rohrfeder bevorzugt.

Aufgrund einer vergleichsweise einfachen Herstellung und Verwendung wird als elektromechanischer Aktor ein Piezoaktor bevorzugt, insbesondere ein Vielschicht-Piezoaktor. Außer einem Piezoaktor ist aber auch die Verwendung eines elektrostriktiven oder magnetostriktiven Aktors möglich.

Die Verwendung eines solchen Stellantriebs ist besonders vorteilhaft, wenn er in einer Dosiervorrichtung eingebaut ist, beispielsweise zum Antrieb eines Kraftstoffinjektors. Dabei wird die kurze Ansprechzeit, die präzise Hubsteuerung sowie die hohe Kraftaufgabe vorteilhaft anwendbar.

Ein Stellantrieb kann mittels eines Verfahrens hergestellt werden, bei dem

- a) das Federelement mit der Fußplatte [Kopfplatte] verbunden, z. B. verschweißt, wird,
- b) der Aktor und /oder die mit dem Federelement verbundene Fußplatte [Kopfplatte] mit dem Füllstoff benetzt wird,
- c) der Aktor so auf die mit dem Federelement verbundene Fußplatte [Kopfplatte] aufgesetzt wird, daß die entstehende untere Kontaktfläche [obere Kontaktfläche] mit Füllstoff benetzt ist,
- d) der Aktor und/oder die mit dem Federelement verbundene Kopfplatte [Fußplatte] mit dem Füllstoff benetzt wird,
- e) der Aktor so auf die mit dem Federelement nicht verbundene Fußplatte [Kopfplatte] aufgesetzt wird, daß die durch dieses Aufsetzen entstandene obere Kontaktfläche [untere Kontaktfläche] mit Füllstoff benetzt ist,
- f) das Federelement gegenüber der noch nicht mit ihm verbundenen Kopfplatte [Fußplatte] vorgespannt wird,
- g) die noch nicht mit dem Federelement verbundene Kopfplatte [Fußplatte] sodann mit dem Federelement verbunden, z. B. verschweißt, wird.

Die Angaben in eckigen Klammern bezeichnen eine alternative Reihenfolge, bei der Kopf- und Fußplatte bzw. obere Kontaktfläche und untere Kontaktfläche vertauscht sind.

Bei einer Verwendung eines Piezoaktors, vorzugsweise eines Vielschicht-Piezoaktors, ist es vorteilhaft, wenn sich diesen Schritten a) bis g) der Schritt h) Polarisierung des Piezoaktors durch Anlegen einer elektrischen Gleichspannung an Anschlußstifte des Piezoaktors anschließt.

Für den Fall, daß der Füllstoff ein aushärtbarer Füllstoff ist, beispielsweise ein Kleber, schließt sich als letztes (d. h. nach den Schritten g) bzw. h)) noch der Schritt - Aushärtung des Füllstoffs an.

Es ist zur Vermeidung von gasgefüllten Hohlräumen innerhalb des Füllstoffs vorteilhaft, wenn dieser vor seinem Ausbringen entgast wurde.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn vor einer Benetzung mit Füllstoff die Kontaktflächen zuvor gereinigt und parti-

kelfrei gemacht werden.

Es ist auch vorteilhaft, wenn die Kontaktflächen durch ein Benetzungsmittel zur Verringerung der Oberflächenspannung vorbehandelt werden.

In den folgenden Ausführungsbeispielen wird der Stellantrieb als Schnittdarstellung in Seitenansicht schematisch näher beschrieben.

Die Fig. 1 und 2 zeigen einen Stellantrieb, bei dem die Kontaktflächen durch den Füllstoff ausgefüllt sind,

Fig. 3 zeigt einen idealisierten Stellantrieb, die Fig. 4 und 5 zeigen je einen Stellantrieb mit verschiedenen Arten von nicht ausgefüllten Kavitäten an den Kontaktflächen.

Fig. 3 zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht einen Stellantrieb bestehend aus einer Fußplatte 1, einer Kopfplatte 2, einem Federelement 3 in Form einer Rohrfeder 31, einen elektromechanischen Aktor 4 in Form eines piezoelektrischen Viellagen-Aktors (= "piezoelektrischer Multilayer" = PMA) 41, elektrische Anschlüsse 5 zur Steuerung des Viellagen-Piezoaktors 41 sowie Schweißnähte 6.

Ein solcher Stellantrieb wird vorzugsweise eingesetzt zum Antrieb eines Ventilstößels in einem Kraftstoff-Einspritzventil.

Der Stellantrieb wird typischerweise in der folgenden Reihenfolge montiert und aktiviert:

- a) Befestigung der Rohrfeder 31 mit der Fußplatte 1 [Kopfplatte 2] mittels Verschweißung,
- b) Einführung des PMA in die Rohrfeder 31,
- c) Aufsetzen der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1] auf den PMA 41,
- d) mechanisches Spannen der Rohrfeder 31 gegenüber der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1] mit einer Kraft  $F$  von ca. 850 N,
- e) Verschweißen der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1] mit der Rohrfeder 31 im vorgespannten Zustand,
- f) Polarisierung des PMA 41 durch Anlegen einer elektrischen Gleichspannung ausreichender Höhe und Dauer an die elektrischen Anschlüsse 5 des PMA 41, wodurch sich eine Druckpolung ergibt.

Die Angaben in eckigen Klammern bezeichnen eine Reihenfolge, bei der Kopfplatte 2 und Fußplatte 1 vertauscht sind.

Die mechanische Druckvorspannung des PMA 41 verhindert dessen Zerstörung bei sehr schnellen Steilvorgängen, typischerweise entlang der Längsachse des PMA 41, wie sie in einem modernen Hochdruck-Einspritzventil üblich sind. Ein besonderer Vorteil des PMA 41 ist, neben einer hohen Stellgeschwindigkeit, vor allem die hohe Stellkraft. Aus diesem Grund wird ein PMA 41 bevorzugt in einem Hochdruck-Einspritzventil eingesetzt, wo er bei einem Kraftstoffdruck bis zu 2000 bar eine präzise Betätigung der mit einer hohen Druckkraft beaufschlagten Ventilelemente ermöglicht.

Andererseits beträgt die Leerlaufauslenkung eines PMA 41 typischerweise nur 0,13% seiner Baulänge, was eine Leerlaufauslenkung von typischerweise 40  $\mu$ m bei 30 mm Aktorlänge ergibt. Während bisher der Minimierung externer mechanischer Übertragungsverluste (Hub und Kraft) viel Aufmerksamkeit gewidmet wurde, beispielsweise durch eine besonders steife Ausführung von an den Stellantrieb angelegten Bauteilen, besteht hinsichtlich der Verringerung interner Antriebsverluste des Stellantriebs, also von Verlusten, welche innerhalb des in dieser Figur gezeigten Stellantriebs entstehen, noch Handlungsbedarf.

In diesem Ausführungsbeispiel ist der idealisierte Fall des PMA 41 mit exakt planparallelen Endflächen ohne jegliche Rauigkeit dargestellt. Dies gilt auch für die Fußplatte

1 und die Kopfplatte 2, so daß die obere Kontaktfläche 7 und die untere Kontaktfläche 8 kavitätenfrei sind. Dabei ergibt sich eine ideale Kontaktfläche, welche der Auflagefläche der Endflächen des Piezoaktors 41 entspricht.

Eine Vermessung der Antriebseigenschaften und der Eigenresonanz eines realen Stellantriebs hingegen ergibt eine relativ große Schwankung in den elektromechanischen Kenngrößen.

Fig. 4 zeigt schematisch einen Stellantrieb analog zum Stellantrieb in Fig. 3, welcher an der oberen Kontaktfläche 7 und der unteren Kontaktfläche 8 von PMA 41 und Kopfplatte 2 bzw. Fußplatte 1 im submikroskopischen Bereich Rauigkeiten, Welligkeiten und Schiefheiten aufweist, welche zu Kavitäten 9 in Form von Hohlräumen (obere Kontaktfläche 7) und Spalten (untere Kontaktfläche 8) führen.

Die durch diese Kavitäten 9 hervorgerufenen parasitären Verluste lassen sich durch einen hohen mechanischen Anpreßdruck von typischerweise 18 MPa zwar mildern (die Kavitäten 9 werden teilweise zugeedrückt), jedoch wäre zur vollständigen Beseitigung der Kavitäten 9 eine wesentlich höhere Anpreßkraft notwendig. Eine solche weit höhere Anpreßkraft, die sich zudem mit den vorteilhaften Rohrfedern 31 in dem zur Verfügung stehenden Baurum nicht realisieren lassen, welche den Vielschicht-Piezoaktor 41 nachteiligeweise depolarisieren würden.

Fig. 5 zeigt einen Stellantrieb analog zu den Fig. 3 und 4 mit einer Deformation der Piezoendflächen.

Aufgrund eines unter einer mechanischen Druckvorspannung erfolgenden Polarisierungsvorgangs des PMA 41 kommt es aufgrund der damit einhergehenden Volumenänderung im piezoelektrischen Material zu einer balligen Ausformung der zuvor planparallelen Endflächen des PMA 41. Eine solche ballige Ausformung führt zur Ausbildung von Kavitäten 9 in Form von Spalten.

Die bei einem typischen Stellantrieb entstehenden Kavitäten 9 an der oberen Kontaktfläche 7 zwischen PMA 41 und Fußplatte 1 und/oder an der unteren Kontaktfläche 8 zwischen Kopfplatte 2 und PMA 41 auftretenden Kavitäten 9 ergeben sich aus einer Superposition der in Fig. 4 diskutierten Kavitäten (Rauigkeiten, Spalten, Schiefheiten und/oder Welligkeiten) mit der in Fig. 5 dargestellten, durch den Polarisierungsvorgang hervorgerufenen Balligkeit. Wegen den hier beschriebenen, schwer kontrollierbaren Einflüssen aufgrund der Kavitäten 9 zeigen endmontierte Stellantriebe signifikante Schwankungen in ihren elektromechanischen Kennwerten. Alle Arten von Kavitäten 9, also Rauigkeiten und Verkipnungen etc. an den Kontaktflächen 7, 8 als auch die durch den Polarisierungsvorgang hervorgerufene Balligkeit der Piezoendflächen, führen zu mechanischen Übertragungsverlusten durch "Leerfederung" des PMA 41 innerhalb des Stellantriebs. Im Idealfall stellen Kopfplatte 2, PMA 41 und Fußplatte 1 einen möglichst steifen Verbund dar, dessen Federrate nur durch die elastischen Eigenschaften der verwendeten Materialien und ihre Geometrie, nicht aber durch Nachgiebigkeiten an den Kontaktflächen bestimmt wird.

Fig. 1 zeigt einen Stellantrieb, bei dem im Vergleich zu den in den Fig. 4 und 5 dargestellten Stellantrieben ein Füllstoff 10 (gepunktet eingezeichnet) vorhanden ist, welcher mindestens eine Kavität 9 zwischen dem PMA 41 und der Kopfplatte 2 und/oder zwischen dem PMA 41 und der Fußplatte 1 ausfüllt.

Anstelle einer aufwendigen mechanischen Bearbeitung der Kontaktflächen (z. B. durch Planschleifen, Polieren etc.), wobei zudem die durch die Druckpolung bedingte Balligkeit der Endflächen des PMA 41 noch nicht einmal beseitigt werden kann, ist es verfahrenstechnisch wesentlich einfacher und wirksamer, die Kavitäten, und insbesondere den

durch die Balligkeit der Endflächen nach dem Polarisieren bedingte Spalt durch einen Füllstoff 10, beispielsweise einen aushärtbaren Kleber (Epoxydharz etc.) oder ein Fluid, auszufüllen.

5 Durch die so verbesserte mechanische Ankoppelung des PMA 41 an die kraftübertragenden Endplatten (Kopfplatte 2 und/oder Fußplatte 1) steigt nicht nur der elektromechanische Wirkungsgrad des Stellantriebs, sondern es wird auch die Schwankungsbreite der elektromechanischen Parameter des Stellantriebs (Blockierkraft, Leerlaufauslenkung, Temperaturverhalten etc.) erheblich verringert. Durch eine Ausfüllung der Kavitäten 9 mittels des Füllstoffs 10 sinken somit die Anforderungen an die mechanische Bearbeitungsgüte der Kontaktflächen 7, 8 deutlich, wodurch sich auch vorteilhafterweise Kosten und Ausschuß verringern.

Hervorzuheben ist, daß es sich bei den angegebenen Kavitäten üblicherweise um Kavitäten 9 im Mikrometerbereich handelt. Bei einer Benetzung der oberen/unteren Kontaktfläche 7, 8 mit dem Füllstoff 10, beispielsweise einem Kleber oder einem Fluid, besteht somit nicht die Gefahr einer Verringerung der Gesamtsteifigkeit des Stellantriebs, wie sie bei älteren piezoelektrischen Stapelaktoren oder bei geklebten PMAs 41 auftritt. Im Gegenteil wird sogar die Gesamtsteifigkeit des Stellantriebs deutlich auf ein definiertes Maß erhöht. Ebenso wenig tritt aufgrund der sehr geringen Ausdehnung der Kavitäten 9 ein Einfluß des Füllstoffs 10 auf eine thermische Dehnung des Stellantriebs auf.

Weil der Füllstoff 10 lediglich zur Überbrückung der Kavitäten 9 dient, muß auch keine tatsächliche Verklebung des PMA 41 mit der Fußplatte 1 und/oder der Kopfplatte 2 erfolgen. Die dauerhafte Fixierung der Lage des Piezoaktors auf der Kopfplatte 2 bzw. der Fußplatte 1 wird durch die hohe mechanische Vorspannkraft der Rohrfeder 31 gewährleistet, wodurch ein Auswandern verhindert wird.

35 Dennoch ist eine hohe Endhärte des Füllstoffs 10 (hoher Elastizitätsmodul) anzustreben, vorzugsweise  $> 10$  GPa.

Bei mechanisch sehr gut vorbehandelten, an die Kontaktflächen 7, 8 grenzende Oberflächen mit einem nicht zu großen zu überbrückenden Abstand, kann auch die alleinige Benetzung der Kontaktflächen 7, 8 mit einem inerten Fluid (z. B. Öl, Fett) als Füllstoff 10 die mechanische Ankoppelung verbessern. Dazu muß das Fluid durch Kapillarkräfte dauerhaft in den Kavitäten 9 fixiert bleiben.

Ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung eines Stellantriebs, so wie er in dieser Figur dargestellt ist, beruht auf den folgenden Schritten:

- a) Verbindung der Rohrfeder 31 mit der Fußplatte 1 [Kopfplatte 2], vorzugsweise durch Verschweißung (wodurch eine Schweißnaht 6 erzeugt wird),
- b) Benetzung des PMA 41 und/oder der Fußplatte 1 [Kopfplatte 2] mit dem Füllstoff 10,
- c) Einführung des PMA 41 in die Rohrfeder 31,
- d) Benetzung des PMA 41 und/oder der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1] mit Füllstoff 10,
- e) Aufsetzen der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1] auf den PMA 41,
- f) mechanisches Spannen der Rohrfeder 31 gegenüber der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1], vorzugsweise mit einem Druck zwischen 15 MPa und 20 MPa, insbesondere 18 MPa,
- g) Verbinden der Kopfplatte 2 [Fußplatte 1] mit der Rohrfeder 31 im vorgespannten Zustand, vorzugsweise durch Verschweißung],
- h) Polarisierung des PMA 41 durch Anlegen einer elektrischen Gleichspannung ausreichender Höhe und Dauer an die Anschlußstifte 5 des PMA 41,
- i) gegebenenfalls Aushärtung des Füllstoffs 10.

Zur vollständigen Ausfüllung der Kavitäten 9 (z. B. Hohlräume und Spalte) durch den Füllstoff 10 werden die Kontaktflächen 7, 8 vorzugsweise zuvor gereinigt und partikelfrei gemacht. Zur Verringerung der Oberflächenspannung an den Kontaktflächen 7, 8 werden die Kontaktflächen vorteilhafterweise mittels eines Benetzungsmittels benetzt.

Es ist sehr vorteilhaft, wenn die Größe von Füllstoffpartikeln des Füllstoffs 10 deutlich geringer ist (mindestens eine Größenklasse) als die kleinsten zu füllenden Kavitäten. Ein typischer durchschnittlicher Durchmesser von Hohlräumen beträgt 1 µm bis 250 µm. Daraus folgt, daß ein Füllstoff 10 mit einem durchschnittlichen Durchmesser der darin enthaltenen Füllstoffpartikel von < 0,1 µm besonders günstig ist.

Zur vorteilhaften Vermeidung von Gaseinschlüssen im Füllstoff 10 wird der Füllstoff 10 vor seinem Ausbringen entgast. Zur dosierten Ausbringung des Füllstoffs 10 auf die Kontaktflächen 7, 8 eignen sich beispielsweise Dispenser.

Selbstverständlich werden durch diese Methode auch durch die Form der Fußplatte 1 und der Kopfplatte 2 bedingte Kavitäten beseitigt. Diese sind allerdings der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt.

Fig. 2 zeigt einen Stellantrieb analog zu Fig. 1, bei dem die Kavität 9 aufgrund einer Balligkeit durch eine Polarisierung des PMA 41 entstanden ist.

#### Patentansprüche

1. Stellantrieb, aufweisend
  - einen elektromechanischen Aktor (4, 41), welcher an seiner oberen Kontaktfläche (7) an einer Kopfplatte (2) und an seiner unteren Kontaktfläche (8) an einer Fußplatte (1) aufliegt,
  - ein die Kopfplatte (2) und die Fußplatte (1) verbindendes Federelement (3, 31), mittels dessen der Aktor (4, 41) druckvorspannbar ist,
 dadurch gekennzeichnet, daß ein Füllstoff (10) vorhanden ist, welcher mindestens eine Kavität (9) zwischen dem Aktor (4, 41) und der Kopfplatte (2) und/oder zwischen dem Aktor (4, 41) und der Fußplatte (1) ausfüllt.
2. Stellantrieb Anspruch 1, bei dem der Füllstoff (10) Füllstoffpartikel enthält, die einen durchschnittlichen Durchmesser < 0,1 µm besitzen.
3. Stellantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Füllstoff (10) ein viskoser Stoff, ein Kleber, insbesondere ein Epoxydharz, oder ein Fluid ist.
4. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem der Füllstoff (10) ein Lot oder eine keramische Masse ist.
5. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 3 oder 4, bei dem der Füllstoff (10) aushärtbar ist und nach dem Aushärten einen Elastizitätsmodul  $E > 10 \text{ GPa}$  besitzt.
6. Stellantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Federelement (3, 31) eine Rohrfeder (31) ist.
7. Stellantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der elektromechanische Aktor (4, 41) ein Vielschicht-Piezoaktor (41) ist.
8. Stellantrieb nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der in einer Dosiervorrichtung, insbesondere zur Kraftstoffeinspritzung, eingebaut ist.
9. Verfahren zur Herstellung eines Stellantriebs nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem
  - a) das Federelement (3, 31) mit der Fußplatte (2) oder der Kopfplatte (2) verbunden wird,
  - b) der Aktor (4, 41) und/oder die mit dem Feder-

element (3, 31) verbundene Fußplatte (1) oder Kopfplatte (2) mit dem Füllstoff (10) benetzt wird,

c) der Aktor (4, 41) so auf die mit dem Federelement (3, 31) verbundene Fußplatte (1) oder Kopfplatte (2) aufgesetzt wird, daß die entstandene untere Kontaktfläche (7) oder obere Kontaktfläche (8) mit Füllstoff (10) benetzt ist,

d) der Aktor (4, 41) und/oder die mit dem Federelement (3, 31) nicht verbundene Kopfplatte (2) oder Fußplatte (1) mit dem Füllstoff (10) benetzt wird,

e) der Aktor (4, 41) so auf die mit dem Federelement (3, 31) nicht verbundene Fußplatte (1) oder Kopfplatte (2) aufgesetzt wird, daß die durch dieses Aufsetzen entstandene obere Kontaktfläche (8) oder untere Kontaktfläche (7) mit Füllstoff (10) benetzt ist,

f) das Federelement (3, 31) gegenüber der noch nicht mit ihm verbundenen Kopfplatte (2) oder Fußplatte (1) vorgespannt wird,

g) die noch nicht mit dem Federelement (3, 31) verbundene Kopfplatte (2) oder Fußplatte (1) sodann mit dem Federelement (3, 31) verbunden wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem sich den Schritten a) bis g) der Schritt

h) Polarisierung des Aktors (4, 41) durch Anlegen einer elektrischen Gleichspannung an die Anschlußstifte (13) des Aktors (4, 41) anschließt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, bei dem der Füllstoff (10) aushärtend ist, und sich der Schritt

– Aushärtung des Füllstoffs (10) anschließt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, bei dem der Füllstoff (10) ein Lot ist, und sich der Schritt

– Verlöten der Endflächen des Aktors (4, 41) mit der Fußplatte (1) und der Kopfplatte (2) anschließt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei dem der Füllstoff (10) vor seinem Ausbringen entgast wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

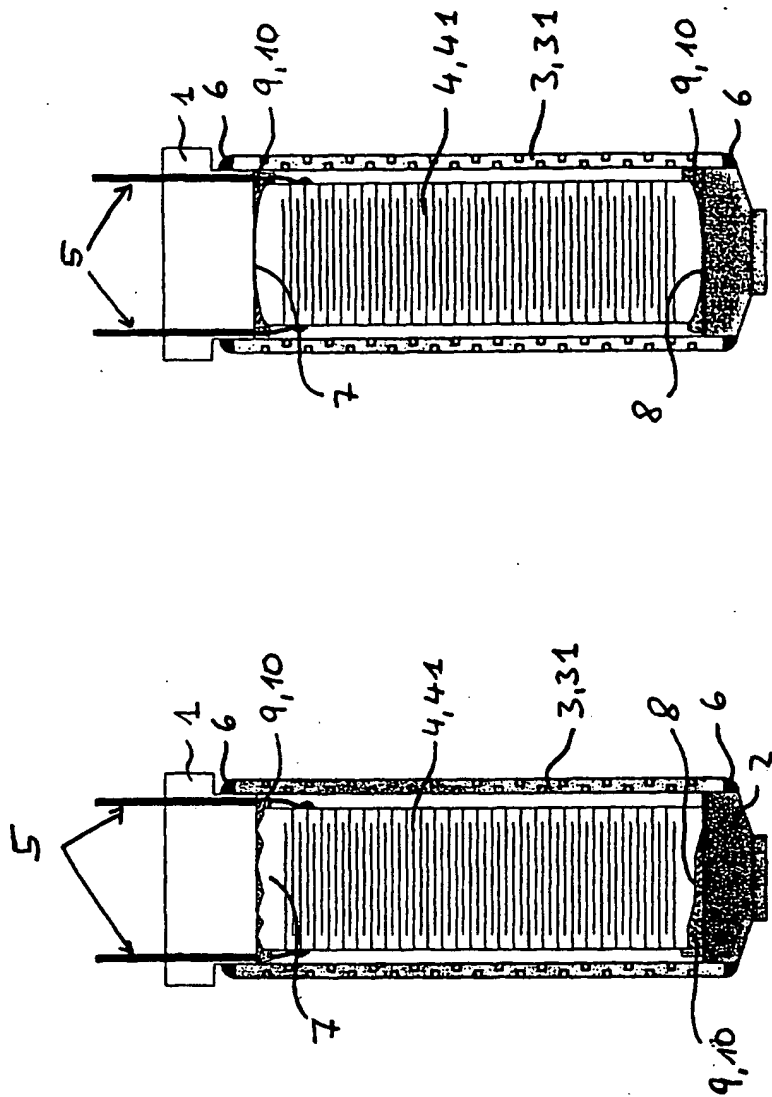


Fig. 2

Fig. 1

BEST AVAILABLE COPY



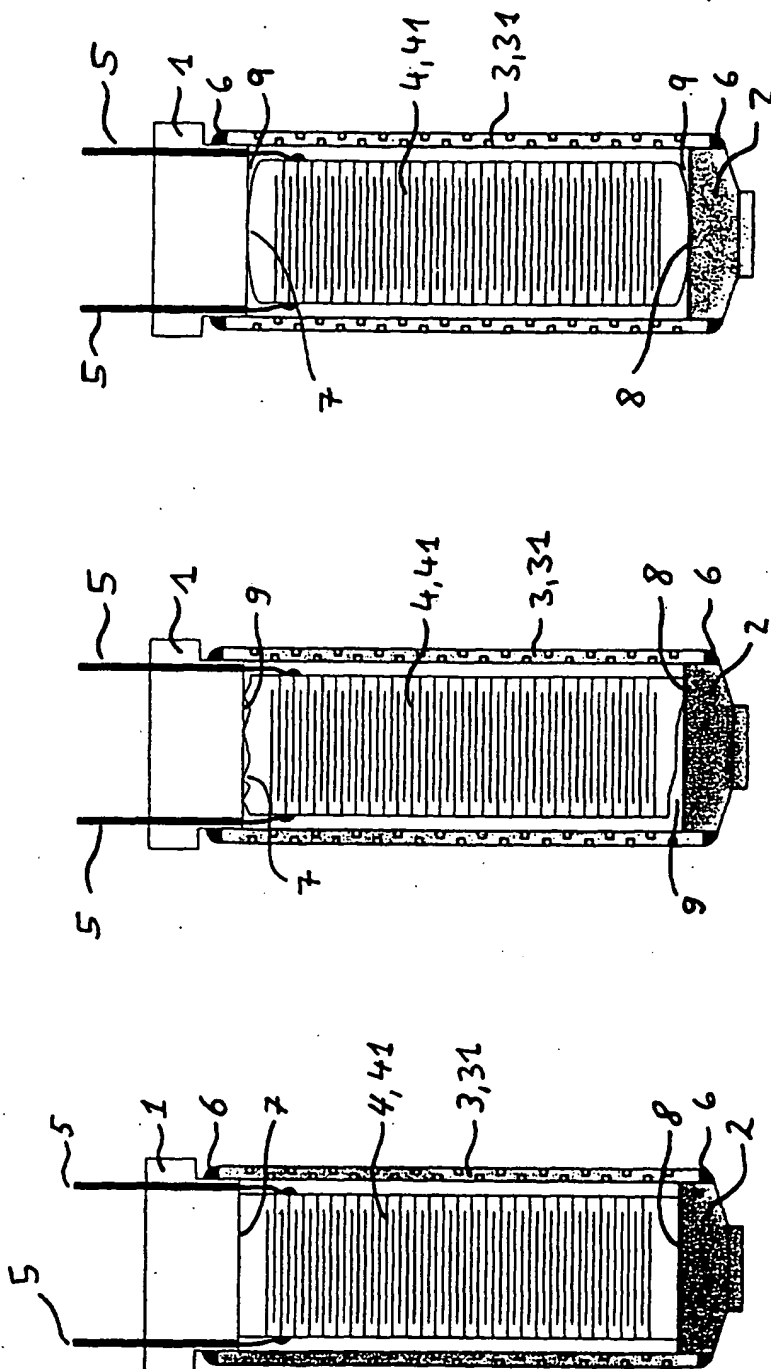


Fig. 5

Fig. 4

Fig. 3

BEST AVAILABLE COPY